

5. Кара-Сал Б.К. Керамические строительные материалы, полученные обжигом при пониженном давлении: Автореф. диссерт. на соискание ученой степени докт. тех. наук. – Новосибирск, 2007. 37 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Frenkel YA.I. Vyazkoe techenie v kristallicheskiykh telakh. // Zhurnal teoreticheskoy fiziki. - 1946. T. 16. № 1. S. 29-38.
2. Geguzin YA.E. Fizika spekaniya. - M.: Nauka, 1984. 311 s.
3. Kara-Sal B.K. Ispolzovanie glinistykh porod tuvy dlya proizvodstva keramicheskikh izdelij. // Stroitelnye materialy. - 2003. № 11. S. 43-45.
4. Avgustinik A.I. Keramika. - L.: strojizdat, 1975. 592 s.
5. Kara-Sal B.K. Keramicheskie stroitelnye materialy, poluchennye obzhigom pri ponizhenном давлении: Avtoref. dissert. na soiskanie uchenoj stepeni dokt. tekhn. nauk. - Novosibirsk, 2007. 37 s.

Кара-Сал Борис Комбуй-оолович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство» Тувинского государственного университета, Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл, E-mail: carasal.bor@yandex.ru

Kara-Sal Boris – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department "Industrial and civil construction" of the Tuvin State University and The Tuvin Institute of Complex Natural Resources of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl, E-mail: carasal.bor@yandex.ru

УДК691+691.4+666.7.004.8

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ПОЛЕВОШПАТОЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ КАМНЕДРОБЛЕНИЯ

*Кара-Сал Б.К., Куулар Л.Э.
Тувинский государственный университет, Кызыл*

CERAMICSONTHEBASEOF FIELDSPARTSEOLIT WASTE AFTER STONE-CRUSHING

*Kara-Sal B.K., Kuular L.E.
Tuvin State University, Kyzyl*

Показана возможность получения изделий строительной керамики пористой и плотной структуры из полевошпатоцеолитсодержащих отходов, что возможно благодаря особенностям химико-минералогического состава сырья.

Ключевые слова: полевошпатоцеолитсодержащие отходы, керамика, обжиг, свойства.



The possibility of production ceramic product of porous and dense structure from fieldspartseolite waste due to the peculiarities of chemical-mineralogical composition of raw materials is revealed in the paper.

Key words: zeolite-feldspar waste, ceramics, baking properties.

В связи с истощением запасов качественных глин во многих регионах обеспечение производства соответствующими сырьевыми материалами для выпуска конкурентоспособных керамических стеновых материалов является актуальной проблемой, для решения которой все чаще стали использовать нетрадиционные местные минеральные ресурсы, которые ранее не применялись в этой отрасли.

В данной работе в качестве сырья для получения стеновых керамических материалов использована полевошпатоцеолитовая порода, которая является отходом производства дорожного щебня. Применение указанной породы связано с особенностями структуры цеолитов – каркасных алюмосиликатов, отличающихся ионообменными, сорбционными и каталитическими способностями [1], что позволяет предположить о многофункциональном их действии при включении в состав керамической шихты.

Объект исследования представляет собой мелкую фракцию (до 3 мм) производства дорожной засыпки, имеющую красно-коричневый цвет с мелкокристаллической структурой, средняя насыпная масса 1540-1560 кг/м³. В химическом составе (табл. 1), наряду с высоким содержанием железистых соединений, щелочноземельных элементов (CaO и MgO более 6 %), в значительном количестве присутствуют щелочные оксиды (K₂O и Na₂O), что очень важно для спекания керамической массы.

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Массовое содержание оксидов								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.
60,43	11,64	0,40	6,12	5,45	1,92	2,68	2,49	10,47

Минеральный состав исследованной породы, по данным рентгенофазового анализа, представлен полевым шпатом, клиноптилолитом, кварцем, монтмориллонитом, железистым соединением, вулканическим стеклом. При этом содержание основных минералов породы следующее: альбита – 42-48 %; цеолита – 16-20 %; кварца – 22-26 %; монтмориллонита – 6-8 %; гидроксидов железа – 6-7 %; вулканического стекла – 4-5 %. Особенностью минерального состава породы является среднее содержание полевого шпата (менее 50 %) по сравнению с чистыми пегматитами, и незначительная доля клиноптилолита (не более 20 %), что значительно меньше, чем в чистых цеолитах (более 60 %). Кроме того, в полевошпатоцеолитовой породе еще присутствуют глинистые минералы и вулканическое стекло.

При выполнении работы мелкая фракция камнедробления размером не более 3 мм измельчалась в шаровой мельнице до остатка на сите 008 не более

3%. Измельченный порошок увлажняли до 10 % и изготавливали образцы-цилиндрики диаметром и высотой 30 мм при удельном давлении 25 МПа. Образцы высушивались до постоянной массы при температуре 100-105 °С и подвергались обжигу в лабораторной электропечи в интервале 800-1100 °С с изотермической выдержкой 1 ч.

Определение физико-механических характеристик обожженных изделий выполнялось согласно стандартным методикам [2].

Изучение формуемости пресс-порошка на основе полевошпатоцеолитсодержащей породы показало, что уплотнение массы зависит от тонкости помола и влажности шихты. При увеличении удельной поверхности порошка до 10000 см²/г наблюдается процесс упругого расширения сырца после прессования. Поэтому удельная поверхность материала ограничена с 6000 см²/г, что не вызывает деформации сырца после уплотнения.

Выявлено, что из-за увлажнения и набухания глинистых минералов, а также частичной аморфизации клиноптилолита при измельчении образуется пластичная связка, которая плотно заполняет межзерновые пустоты твердых компонентов при прессовании. Соответственно увеличивается степень уплотнения пресс-порошка и прочность сырца из-за наличия глинистоцеолитовой связки. Установлено, что с увеличением влажности массы с 8 до 12 %, степень уплотнения пресс-порошков повышается на 30 %. Своеобразное сочетание основных породообразующих минералов и механическая активация сырья обеспечивает хорошую формуемость пресс-порошка и повышение прочности сырца после прессования.

Установлено, что коэффициент чувствительности к сушке массы на основе полевошпатоцеолитовой породы колеблется в пределах 1,4-1,8, что существенно меньше, чем показатель шихты на основе чистых глинистых пород (2,8-4,5). Это связано со слабой связанностью гидратных оболочек на поверхности преобладающих непластичных зерен массы. Кроме того, определенная часть свободной воды переходит в связанное состояние в каркасной структуре цеолитовых частиц [3]. Пониженная чувствительность пресс-порошка к сушке обеспечивает трещиностойкость сырца при удалении влаги и дает возможность направлять изделия сразу на обжиг с оптимальным режимом подогрева сырца при термической обработке.

Поведение полевошпатоцеолитовой массы при обжиге изучалось дилатометрическим исследованием и изменением физико-механических характеристик, а также фазового состава обожженных изделий.

Анализ дилатометрической кривой, характеризующей изменение линейных размеров образцов при термической обработке и физико-механических характеристик обожженных изделий, приведенных в таблице 2 показывает, что спекание керамических масс на основе полевошпатоцеолитовых пород начинается после 850 °С. Этому предшествует удлинение и объемное расширение образцов в пределах 250-700 °С, что связано с модификационным превращением кварцевых частиц, присутствующих в исходном сырье, и изменением каркасной структуры и объема элементарной ячейки



клиноптилолита при переходе в морденит [1]. При этом максимальная величина удлинения образцов 0,75 % при 650 °С.

Таблица 2

Физико-механические свойства обожженных образцов

Температура обжига, °С	Средняя плотность, г/см ³	Огневая усадка, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа
800	1,86	0,2	20,8	19,7
900	1,89	1,1	17,4	21,6
1000	1,92	2,7	14,5	29,3
1050	1,97	4,6	8,7	42,1
1100	2,01	20,1	0,71	91,4

Подтверждением начала спекания массы после 850 °С является величина огневой усадки образцов, обожженных при 900 °С–1,1 %. Кроме того, средняя плотность изделий увеличивается с 1,86 до 1,89 г/см³, что свидетельствует об уплотнении образцов с началом образования жидкой фазы. На дилатометрической кривой при 900 °С наблюдается усадка образца величиной 0,4 %. При этом водопоглощение изделий составляет 17,4 %, а предел прочности при сжатии 21,6 МПа, что является достаточно характерным показателем для стеновых керамических материалов.

Изучение структуры образцов методом ртутной порометрии показало, что пористость черепка в пределах 650-700 °С составляет 26,7 %, что на 8 % больше, чем до начала обжига. Выявлено, что после обжига при 900 °С пористость черепка уменьшается до 21,1 % за счет заполнения жидкой стеклофазы межзерновых пустот твердых частиц. Образование жидкого расплава в результате аморфизации и разложения цеолитовых и монтмориллонитовых минералов обусловлено высоким содержанием щелочных оксидов (K₂O и Na₂O) в исходном сырье. Как отмечается в работе [4], наиболее эффективное спекание характерно для керамических масс, которые наряду с катионами K⁺ и Na⁺ содержат еще катионы Ca²⁺ и Mg²⁺. При этом указанных оксидов должно быть не менее 10 %, что вызывает более интенсивное спекание. При повышении температуры до 1000 °С продолжается уплотнение и упрочнение черепка. В результате водопоглощение образцов уменьшается до 14,5 %, а предел прочности при сжатии увеличивается до 29,3 МПа. По данным результатов ртутной порометрии пористость материала уменьшается до 19,2 %. Повышение прочности образцов свидетельствует о дальнейшем накоплении жидкой стеклофазы.

Изучение фазового состава образцов, обожженных при 1000 °С рентгеновским методом, показало, что основные компоненты представлены разложившимися остатками клиноптилолита, монтмориллонита, альбитом, кварцем, стеклофазой (до 20 %) и вновь образующимися фазами – гематитом (d/n 0,264; 0,251; 0,184 нм) и кристобалитом (d/n 0,404; 0,247; 0,202 нм).

Следует отметить, что для производства стеновых керамических материалов пористого черепка с водопоглощением не менее 10 % (ГОСТ 530-2007) на основе чистой полевошпатоцеолитовой породы температуру обжига необходимо принимать не более 1000 °С, так как при дальнейшем повышении температуры обжига до 1050 °С наблюдается интенсивное спекание массы и водопоглощение изделий составляет 8,7 %, что классифицирует обожженные материалы как облицовочные.

Выявлено, что после 1050 °С начинается интенсивное спекание массы на основе полевошпатоцеолитовой породы со значительным образованием и накоплением жидкой фазы, о чем свидетельствует повышение огневой усадки образцов, обожженных при 1100 °С, до 20,7 % и снижение водопоглощения до 0,71 %. При этом механическая прочность изделий достигает 91,4 МПа. Возрастание спекания полевошпатоцеолитовой массы связано с активным образованием жидкой фазы за счет плавления альбита (d/n 0,321; 0,292), линии интенсивности которого в дифрактограммах начинают уменьшаться с 950 °С. По данным микроскопических исследований содержание стеклофазы в образцах, обожженных при 1100 °С, достигает 35-38 %. При этом выявлено, что стеклофаза имеет темно-коричневые участки, что свидетельствует о внедрении ионов двухвалентного железа. Как известно [4], железистая стеклофаза отличается высокой реакционной способностью: в ней растворяются поверхностные слои кварца. Наряду с плавлением альбита и кварца, рентгенофазовым анализом установлена кристаллизация анортита (d/n 0,405; 0,321). Увеличение содержания стеклофазы и образование анортита обеспечивают высокую механическую прочность образцов, что позволяет получить плотный керамический материал, который можно использовать как клинкерный кирпич и плитки для пола.

Таким образом, на основании проведенного исследования установлено, что полевошпатоцеолитовые отходы камнедробления могут быть использованы в качестве сырья для производства изделий строительной керамики различного назначения, что связано с особенностями химико-минералогического состава сырья.

Библиографический список

1. Овчаренко Г.И., Свиридов В.Л., Казанцева Л.К. Цеолиты в строительных материалах. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ. – 2000. 320 с.
2. Книгина Г.И., Вершинина Э.Н., Тацки Л.Н. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей. – М.: Высшая школа, 1985. 223 с.
3. Погребенков В.М., Седельников М.Б. Керамические пигменты на основе цеолитов. //Стекло и керамика.–1997. № 2. С. 14-15.
4. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. – М.: Стройиздат. 1975. 240 с.

Bibliograficheskij spisok

1. Ovcharenko G.I., Sviridov V.L., Kazantseva L.K. Tseolity v stroitelnykh materialakh. - Barnaul: Izd-vo ALTGTU. - 2000. 320 s.
2. Knigina G.I., Verшинina E.N., Tatski L.N. Laboratornye raboty po tekhnologii stroitelnoy keramiki i iskusstvennykh poristykh zapolnitelej. - M.: Vysshaya shkola, 1985. 223 s.



3. Pogrebenkov V.M., Sedelnikov M.B. Keramicheskie pigmenty na osnove tseolitov. //Steklo i keramika. - 1997. № 2. S. 14-15.

4. Pavlov V.F. Fiziko-khimicheskie osnovy obzhiga izdelij stroitelnoj keramiki. - M.: Strojizdat. 1975. 240 s.

Кара-Сал Борис Комбуй-оолович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство», Тувинский государственный университет, г. Кызыл, E-mail: carasal.bor@yandex.ru

Куулар Лодой Эртинеевич – аспирант, Тувинский государственный университет, г. Кызыл, E-mail: Lodoydamba@mail.ru

Kara-Sal Boris – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department "Industrial and civil construction" of the Tuvin State University and the Tuvin Institute of Complex Natural Resources of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl, E-mail: carasal.bor@yandex.ru

Kuular Lodoy – postgraduate student of the Tuvin State University, Kyzyl, E-mail: Lodoydamba@mail.ru

УДК 628.4.004.82

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Кысыыдак А.С., Салчак А.Д.

Тувинский государственный университет, Кызыл

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург

ENERGY POTENTIAL OF THE LANDFILL POLYGONS

Kysyydak A.S., Salchak A.D.

Tuvan State University, Kyzyl

St. Petersburg State University of Architecture and Construction

Рассмотрены основные направления исследований по совершенствованию строительства полигонов твердых бытовых отходов как природоохранных и энергоэффективных объектов. Приведены данные анализа источников ведущих ученых в данном направлении и примерные расчеты. Особое внимание уделено получению энергии с полигона ТБО как стабильного источника получения альтернативного топлива.

Ключевые слова: полигон твердых бытовых отходов, биогаз.

The main directions of research to improve the construction of solid waste landfills as environmental and energy efficient buildings. The data analysis of the sources of the leading scientists in this field, and sample calculations. Particular attention is paid to the generation of energy from landfill as a stable source of an alternative fuel.

Keywords: landfill polygon and biogas.